4.4 CALCULOS DE CARGA Y CENTRADO.

Una vez visto en los capítulos anteriores las razones por las cuales un aeroplano debe tener su carga y centro de gravedad dentro de los límites estipulados, veamos como se realizan los cálculos para realizar tal comprobación. Estos cálculos son muy sencillos, pues únicamente se trata de conocer el peso total del avión, agregando a su peso en vacío los pesos parciales de lo que transporta, y el total de fuerza de palanca ejercida, en función del peso de cada elemento a transportar y su distancia a una referencia dada.

4.4.1 Definiciones y términos.

Para realizar el cálculo de comprobación de carga y centrado es necesario en primer lugar familiarizarse con los términos y definiciones comúnmente empleados a este efecto. Aunque se procura utilizar la terminología más extendida en la jerga aeronáutica, puede ocurrir que en algunos manuales de vuelo, libros, etc.. se utilicen términos algo distintos aunque equivalentes.

Peso en vacío (Empty Weight). Es el peso del aeroplano incluyendo el equipamiento fijo de fábrica, el combustible no utilizable (que queda en los conductos tras agotarle), y la cantidad de aceite y líquido hidráulico máximos para tener al avión totalmente operativo. A veces, se considera que el peso del aceite y del líquido hidráulico no forman parte del peso en vacío. Esto es irrelevante, pues a la hora de hacer el cálculo incluiremos estos pesos o no dependiendo de si el fabricante los ha incluido u omitido en el peso en vacío dado. En ocasiones se distingue entre peso estándar (Standard Empty Weight) que es el detallado anteriormente y peso básico (Basic Empty Weight) que es el estándar mas el peso del equipamiento opcional (otros equipos de comunicaciones, navegación, etc...).

Datum (Datum o Reference Datum). Es el plano vertical imaginario a partir del cual se miden todas las distancias a efectos de balance y determinación del centro de gravedad. La localización de esta referencia la establece el fabricante.

Brazo (Arm). Es la distancia horizontal existente desde el datum hasta un elemento (tripulante, pasaje, equipaje, etc..).

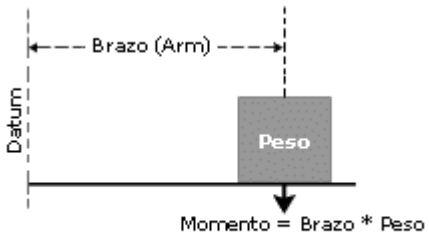

Fig.4.4.1 - Momento, Brazo y Datum.

Brazo del C.G. (C.G.Arm). Distancia horizontal desde el datum hasta el centro de gravedad.

Momento (Moment). Denominación simplificada para describir la fuerza de palanca que ejerce una fuerza o peso. En este caso, es el producto del peso de un elemento por su brazo.

Limites del C.G. (C.G. Limits). Establecen los límites a la posición del C.G. dentro de los cuales un avión con un peso determinado puede volar con seguridad. Se suelen expresar en pulgadas contando a partir del datum.

Hay más términos y definiciones, pero con los aquí reseñados es suficiente para realizar los cálculos de carga y centrado.

En el momento de certificar un avión, el fabricante debe proveer un registro en el cual conste el peso básico, la localización del c.g. y los límites de este. Si se realizan modificaciones en el avión, existe la obligación de registrar el nuevo peso y localización del c.g.

En la fig.4.4.2 se muestra un ejemplo de información proporcionada por el fabricante, en la cual se muestra la localización del datum, los pesos máximo y estándar, y los límites del C.G. dependiendo del peso del avión. Como la mayoría de aviones ligeros son de fabricación estadounidense, las unidades de medida suelen ser pulgadas para longitudes (brazo) y libras para el peso. Naturalmente, los momentos reflejan libras-pulgadas.

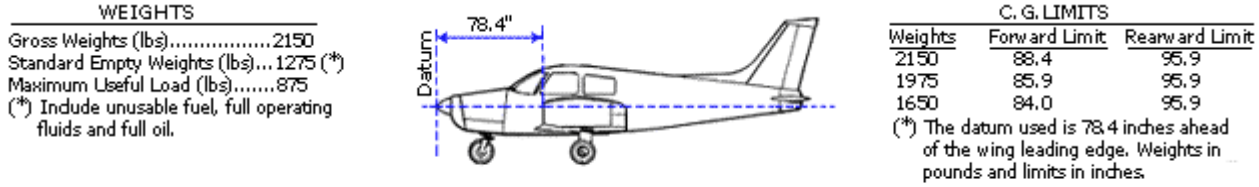

Fig.4.4.2 - Ejemplo de datos de carga dados por el fabricante.

4.4.2 Cálculos básicos de Peso y Balance.

Antes de proceder al cálculo, tanto del peso como de la localización del c.g., primero debemos conocer cual es el peso individual de cada uno de los elementos que transportará el aeroplano (tripulación, pasaje, equipaje, combustible, etc..) y la situación de cada uno de ellos en el avión. Obviamente, también debemos saber cual es el peso del avión en vacío y el brazo (c.g.arm) correspondiente. Seguidamente, realizamos los cálculos mediante alguno de los procedimientos reseñados a continuación, y por último, chequeamos los resultados con los límites dados. En caso afirmativo podemos salir a volar con el avión estable y seguro, en caso contrario debemos aligerar peso y/o redistribuirlo.

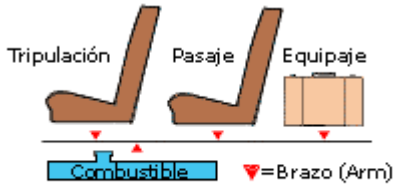

Fig.4.4.3 - Pesos y situación para cálculos.

La gran mayoría de los manuales de vuelo de aviones ligeros, incluyen gráficos y tablas de ayuda para estos cálculos. Veamos primero la matemática (es muy sencilla) del cálculo y pasemos después a apoyarnos en estos gráficos y/o tablas.

1. Basándose en una tabla similar a la mostrada a continuación como ejemplo, anotamos en la primera columna los pesos de cada uno de los elementos. En la primera línea, del avión en vacío, en la segunda del piloto y el copiloto o pasajero en asiento delantero, en la tercera del pasaje en asientos traseros, en la cuarta combustible...
2. En la segunda columna anotamos la distancia de los elementos (arm) al datum.
3. En la tercera anotamos el momento de cada fila, multiplicando el peso (col.1) por el brazo (col.2).
4. Sumamos la primera columna (peso total) y la tercera (momento total).
5. Dividiendo el momento total de la columna tercera por el peso total de la columna primera, resulta el brazo (arm) del centro de gravedad con este peso y esta distribución, es decir obtenemos la posición del c.g. desde el datum. Lo anotamos en la fila de totales, en la columna 2.
6. Ahora, solo resta chequear que el peso total (columna 1) y la posición del c.g. (columna 2) están dentro de los límites aprobados.

	Weight (Lbs.)	Arm Aft Datum (Inches)	Moment (Lbs-Inc.)
Basic Empty Weight	1169	73.2	85570
Pilot and Passenger	340	85.5	29070
Fuel (30 Gallon Maximum)	61	75.4	4599
Baggage (100 Lbs.Maximum)	100	115.0	11500
TOTAL LOADED AIRPLANE	1670	78.3	130739

Notas:
Los datos de este ejemplo no tienen relación con los dados para el avión ejemplo de la fig.4.4.2.
El Basic Empty Weight y su Arm están dados por el constructor en el Manual de Vuelo. El peso de piloto y pasajero del ejemplo, supone que ambos van sentados en los asientos delanteros. El peso estándar del combustible es de 6 libras por galón.

Habitualmente, para simplificar los cálculos los constructores establecen el datum de forma que los números calculados siempre son positivos. Pero puede suceder que en algún caso no sea así y entonces obtengamos algún valor (momento) negativo. Resulta obvio que estos valores restan.

El peso total del aeroplano del ejemplo es de 1670 libras y su Centro de Gravedad estaría situado 78.3 pulgadas a contar desde el datum (130739/1670=78.3). Comprobamos si están dentro de los límites dados por el constructor; si esto no sucediera, debemos reajustar la carga y/o su balance para dejarlos dentro de límites.

4.4.3 Cálculos basados en gráficos.

El procedimiento de cálculo con ayuda de los gráficos proporcionados por el fabricante es similar al anterior, pero evita tener que medir el brazo (arm) y el momento de cada elemento. El procedimiento de cálculo es como sigue:

1. Como en el cálculo anterior, obtenga y sume los pesos de todos los elementos. Esto nos da el peso total que debemos comprobar si está en límites.
2. Use el gráfico de carga para determinar el momento de todos y cada uno de los elementos transportados en el aeroplano (la intersección del peso en el eje Y con la línea transversal correspondiente al elemento se proyecta sobre el eje X, en el gráfico de la izquierda de la fig.4.4.4).
3. Sume todos los momentos obtenidos al momento del peso en vacío especificado por el fabricante.
4. Divida el momento total (3) por el peso total (2). El resultado es la situación del c.g. desde el datum.
5. Localice en el gráfico de la derecha de la fig.4.4.4 el punto de intersección del peso total (eje Y) con el resultado obtenido en el punto 4 (eje X). Si está dentro del contorno marcado en rojo, el avión tiene el c.g. actual dentro de límites.

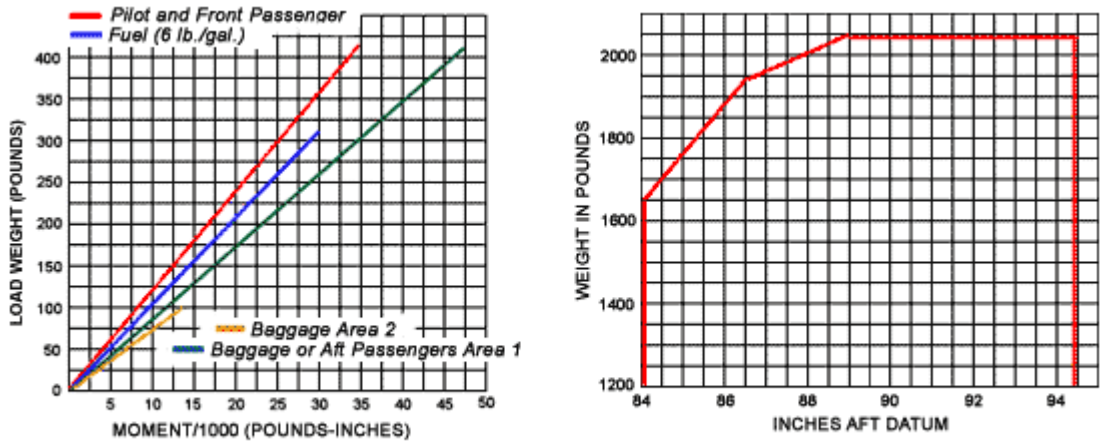

Fig.4.4.4 - Ejemplo de gráficos para cálculo de carga y centrado.

P.ejemplo: Si un piloto más un pasajero en el asiento delantero pesan 340 libras, se busca la intersección de la línea correspondiente (roja en la figura) con el peso 340 en el eje Y, obteniendo un momento aproximado de 28500. El mismo procedimiento se sigue para el combustible, pasaje o equipaje en asiento traseros, y/o equipaje en el área posterior. Con los datos del ejemplo anterior de cálculo básico, el avión con 1670 libras de peso y el c.g. 78,3" desde el datum, estaría fuera del contorno del gráfico de la derecha de la fig.4.4.4, o sea que estaría fuera de límites. No trate de buscar relaciones entre los números, solo son ejemplos.

4.4.4 Cálculos basados en tablas.

En algunos casos, el fabricante proporciona unas tablas en la cuales están tabulados los pesos y los momentos máximos y mínimos para cada peso en particular. En este caso el modo de cálculo es obvio: se deben obtener el peso y el momento total sumando los pesos y momentos parciales obtenidos mediante cualquiera de los metodos antes detallados. Con estos totales, se chequea que en la tabla dada el peso total está tabulado (no está fuera de la misma) y que el momento total resultante está comprendido entre el máximo y el mínimo especificados para dicho peso.

Peso total	Momento mínimo x 100	Momento máximo x 100
2000	1540	1734
2010	1548	1743
2020	1555	1751
2030	1563	1760
2040	1571	1769

Sumario:

- Los cálculos de carga y centrado pretender determinar de una forma sencilla el peso total del avión y el total de fuerza de palanca que ejerce cada elemento a transportar.
- Peso en vacío es el peso del aeroplano incluyendo el equipamiento fijo de fábrica, el combustible no utilizable y la cantidad de aceite y líquido hidráulico máximos para tener al avión totalmente operativo, aunque a veces no se incluye el peso del aceite y el líquido hidráulico.
- Datum es el plano vertical imaginario establecido por el fabricante, a partir del cual se miden todas las distancias a efectos de balance y determinación del centro de gravedad.
- Brazo (arm) es la distancia horizontal existente desde el datum hasta un elemento. Cuando se refiere al c.g. se denomina brazo del c.g. (c.g.arm).
- El producto del peso de un elemento por su brazo o distancia al datum, se denomina momento.

- Los límites al Centro de Gravedad expresan el rango de localizaciones, contando a partir del datum, dentro de los cuales el avión vuela estable y seguro.
- El peso total del avión se obtiene sumando al peso en vacío los pesos parciales a transportar.
- La situación del centro de gravedad (c.g.arm), se obtiene dividiendo la suma de los momentos parciales por el peso total del avión.
- Algunos manuales incorporan tablas y gráficos para simplificar los cálculos.
- Las unidades empleadas suelen ser en su mayoría libras para los pesos y pulgadas para las distancias.
- En general, se considera un estándar de 170 libras de peso para una persona de constitución normal.
- El combustible tiene un peso estandarizado de 6 libras por galón USA.

© M.A.Muñoz Feb/2001